

УДК 636.086.741

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-367-2-95-99

Т.Г. Причко,
Ю.Ф. Якуба, ✉
М.В. Карпушина

Северо-Кавказский федеральный научный
центр садоводства, виноградарства,
виноделия, Краснодар, Российская
Федерация

✉ uriteodor@yandex.ru

Поступила в редакцию:
06.10.2022

Одобрена после рецензирования:
30.12.2022

Принята к публикации:
31.01.2023

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-367-2-95-99

Tatyana G. Prichko,
Uriy F. Yakuba, ✉
Marina V. Karpushina

North Caucasian Federal Scientific Center
for Horticulture, Viticulture, Winemaking,
Krasnodar, Russian Federation

✉ uriteodor@yandex.ru

Received by the editorial office:
10.10.2022

Accepted in revised:
30.12.2022

Accepted for publication:
31.01.2023

Изучение возможности использования данных по содержанию стабильных изотопов магния для прогноза региона производства яблок

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Достоверные критерии, позволяющие установить регион происхождения плодовой продукции, привлекают постоянное внимание исследователей в различных странах. Уже известен ряд подходов, направленных на решение данной проблемы, получены определенные успехи по интерпретации экспериментальных данных для плодов по содержанию стабильных изотопов водорода, углерода, кислорода, азота, серы. Не исключено, что информация о фракционировании стабильных изотопов магния позволит получить не менее важную и надежную информацию для достижения тех же целей.

Методы. Для выполнения работы использовали масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой, стандартные образцы стабильных изотопов магния российского производства. Общую концентрацию катионов магния определяли атомной абсорбцией в пламени и на системе капиллярного электрофореза.

Результаты. В ходе исследований установлено массовое и процентное соотношение трех стабильных изотопов (^{24}Mg , ^{25}Mg , ^{26}Mg) в изучаемых образцах яблок, выращенных в разных почвенно-климатических зонах. Полученные данные отражают относительную распространенность изотопов данного элемента, выраженную в отношении малораспространенного изотопа к наиболее распространенному. Определено отклонение изотопного состава Mg опытных образцов от условного стандарта, получены существенные отклонения по магнитному изотопу ^{25}Mg и немагнитному ^{26}Mg . Получены исходные данные по фракционированию стабильных изотопов магния в сырье, произрастающем в разных регионах, с целью возможного последующего использования в качестве индикаторов в биохимических и физиологических исследованиях. Предположено сочетание полученной информации по изотопам Mg с учетом содержания изотопов других металлов, что позволит с большей надежностью уточнять регион произрастания сырья.

Ключевые слова: яблоко, изотоп, магний, фракционирование, сорт, анализ.

Для цитирования: Причко Т.Г., Якуба Ю.Ф., Карпушина М.В. Изучение возможности использования данных по содержанию стабильных изотопов магния для прогноза региона производства яблок. *Аграрная наука*. 2023; 367(2): 95–99. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-95-99>

© Причко Т.Г., Якуба Ю.Ф., Карпушина М.В.

Study of the possibility of using data on the content of stable isotopes of magnesium to predict the region of apple production

ABSTRACT

Relevance. Reliable criteria for determining the region of origin of fruit products attract the constant attention of researchers in various countries. A number of approaches aimed at solving this problem are already known, and some progress has been made in interpreting experimental data for fruits on the content of stable isotopes of hydrogen, carbon, oxygen, nitrogen, and sulfur. It is possible that information about the fractionation of stable isotopes of magnesium will allow us to obtain equally important and reliable information to achieve the same goals.

Methods. A mass spectrometer with inductively coupled plasma, standard samples of stable isotopes of magnesium produced in Russia were used to perform the work. The total concentration of magnesium cations was determined by atomic absorption in the flame and on the capillary electrophoresis system.

Results. During the research, the mass and percentage ratio of three stable isotopes (^{24}Mg , ^{25}Mg , ^{26}Mg) in the studied samples of apples grown in different soil and climatic zones was established. The data obtained reflect the relative prevalence of isotopes of this element, expressed in the ratio of the least common isotope to the most common. The deviation of the isotopic composition of Mg prototypes from the conventional standard was determined, significant deviations were obtained for the magnetic isotope ^{25}Mg and non-magnetic ^{26}Mg . The initial data on the fractionation of stable isotopes of magnesium in raw materials growing in different regions were obtained, with the aim of possible subsequent use as indicators in biochemical and physiological studies. A combination of the obtained information on Mg isotopes is assumed, taking into account the content of isotopes of other metals, which will make it possible to specify the region of growth of raw materials with greater reliability.

Key words: apple, isotope, magnesium, fractionation, variety, analysis.

For citation: Prichko T.G., Yakuba U.F., Karpushina M.V. Study of the possibility of using data on the content of stable isotopes of magnesium to predict the region of apple production. *Agrarian science*. 2023; 367(2): 95–99. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-95-99> (In Russian).

© Prichko T.G., Yakuba U.F., Karpushina M.V.

Введение / Introduction

В аграрном секторе экономики достаточно остро стоит вопрос о месте происхождения того или иного вида свежей или переработанной плодово-ягодной продукции. Поиск достоверных критериев идентификации происхождения органической продукции привлекает постоянное внимание исследователей [1]. Обычные исследования элементного состава не позволяют решить этот вопрос. Гораздо лучший результат может быть получен при исследовании соотношений стабильных изотопов распространенных в растительном мире химических элементов. Известно значительное количество систем и подходов, направленных на решение данной проблемы [2, 3]. Следует отметить, что наибольшие успехи получены по интерпретации данных по содержанию изотопов водорода, углерода, кислорода, азота, серы [4, 5]. Информации о естественном содержании стабильных изотопов магния и их фракционировании в плодах недостаточно.

Искусственное фракционирование стабильных изотопов химических элементов — технически сложный и дорогой процесс, а в живых системах он реализуется довольно легко. Следует отметить, что фракционированию подвергаются практически все элементы, имеющие изотопы.

Определение естественного содержания стабильных изотопов не так давно стало эффективным методом, с помощью которого можно изучать превращения элементов в биологических и экологических исследованиях, а также исследовать механизмы химических реакций [6].

Согласно исследованиям авторов [7, 8], распределение стабильных изотопов легких химических элементов в различных биологических и абиотических системах существенно различается, поэтому изотопное отношение может быть достаточно достоверным критерием для распознавания биогенных и абиогенных соединений. Анализ изотопного состава исследуемых объектов позволяет в большинстве случаев решить вопрос подлинности продуктов, особенно если это касается продуктов органического питания или с защищенным обозначением происхождения.

Одним из методов выявления фальсификации географического происхождения пищевых продуктов является количественное определение стабильных изотопов $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и некоторых других элементов [9].

В растительных объектах изотопы серы изучены мало, в то же время для отдельных сортов сельскохозяйственных культур и регионов выращивания уже известно, что информация по ^{34}S позволяет достоверно дифференцировать органическую продукцию от выращенной в традиционной интенсивной системе земледелия. Также изотоп серы может выступать в качестве дополняющего показателя в тех случаях, когда информации по изотопам азота недостаточно для оценки продукции органического происхождения [10, 11].

Содержание стабильных изотопов магния в растительных объектах практически не изучено, хотя обнаружение ядерно-магнитного изотопного эффекта с участием катионов магнитного изотопа ^{25}Mg доказывает, что этому элементу уделено недостаточное внимание [12].

Магний (^{24}Mg , 78,992%; ^{25}Mg , 10,003%; ^{26}Mg , 11,005%) — один из важнейших элементов питания растительного мира, хлорофилл участвует в активации множества ферментов, выполняя важную роль в био-

геохимических циклах. Изучение фракционирования стабильных изотопов магния может позволить получить дополнительную информацию об этих циклах [12].

Открытие ион-радикальных механизмов двух ферментативных реакций, имеющих жизнеобеспечивающее значение в биологии, — это синтез аденозинтрифосфата (АТФ), главного энергоносителя в живых организмах, и репликация ДНК полимеразы — процесс, катализируемый ионами металлов, имеющий прямое отношение к химии генов и генетики. Доказано, что фермент с магнитным ядром ^{25}Mg производит в два-три раза больше АТФ, чем фермент с немагнитным ядром ^{24}Mg , что указывало на изотопный эффект [12].

Изучено влияние различных изотопов Mg на клетки *Escherichia coli* и показано, что клетки, выращенные на ^{25}Mg , существенно быстрее адаптируются к новой среде, чем клетки, выращенные на немагнитных изотопах Mg [13].

Исследования млекопитающих показали, что 50% поступающего с пищей ^{26}Mg попадает в кости, 30% — в мышцы, 20% — в другие мягкие ткани. Предпочтение растений тяжелым изотопам магния предполагает, что может существовать разница в биодоступности магния сельскохозяйственных и природных почв из-за периодического удаления тяжелых изотопов магния с урожаем [14].

Зависимость фракционирования изотопов Mg от pH может наблюдаться в любом клеточном организме, который следует аналогичным путям поглощения Mg и метаболическим путям, что служит для выявления круговорота Mg в экосистемах [14]. Поэтому актуальны вопросы, касающиеся изучения стабильных изотопов Mg и их потенциала в качестве индикаторов в биохимических и физиологических исследованиях.

Для обозначения изотопного состава химического элемента [E] принято использовать величину δ , представляющую собой отклонение от условного стандарта, в тысячных долях — ‰ промилле:

$$\delta E = \frac{R_1 - R_2}{R_2} 100\%, \quad (1)$$

где E — химический элемент, R_1 — молярное соотношение тяжелых изотопов и легких в исследуемом объекте, R_2 — молярное соотношение тяжелых изотопов и легких в стандарте, ‰ — промилле.

Из формулы следует, что если в образце (R_1) отношение изотопов меньше, чем в стандарте (то есть образец содержит меньше тяжелых изотопов), то вариация изотопного состава δ имеет отрицательное значение и, наоборот, при R_1 большем, чем в стандарте, — положительное. Общепринятый стандартный образец (R_2) при изотопном анализе магния — соотношение между ^{26}Mg и ^{24}Mg , равное 0,13969 [15].

Цель исследований — получить исходные данные о фракционировании изотопов магния в яблоках (в зависимости от региона) с возможностью создания базы данных, позволяющей судить о происхождении продукта.

Материал и методы исследования / Materials and method

Для установления изотопного состава магния были взяты яблоки разной степени зрелости, произрастающие в условиях Краснодарского и Ставропольского краев, Липецкой области. Изотопный состав яблок определяли с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Thermo-Finnigan MAT (США),

использовали стандартные образцы стабильных изотопов магния производства ФГУП «Комбинат Электрохимприбор».

Для оценки общей концентрации катионов магния применяли атомную абсорбцию в пламени на приборе «Квант АФА» (РФ) и систему капиллярного электрофореза «Капель-105М» (РФ), оборудованную источником питания положительной полярности и ультрафиолетовым детектором [16]. Эксперименты выполнены на научном оборудовании ЦКП «Эколого-аналитический центр коллективного пользования» Кубанского государственного университета и Центра коллективного пользования ФГБНУ СКФНЦСВВ (г. Краснодар, Россия).

Статистический анализ полученных результатов осуществляли с применением стандартных программ Microsoft Excel XP (США) с вычислением коэффициента достоверности по Стьюденту ($P \leq 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При изучении минерального состава плодов яблони была сформирована база данных по уровню накопления катионов калия, кальция, магния, фосфора и азота в плодах в зависимости от фазы развития плода: «фаза лещина», «грецкий орех», «40 суток до созревания», «20 суток до созревания». По результатам наших исследований и литературным данным, концентрация минеральных веществ в плодах в начале их развития высокая, и по мере роста плодов, а также увеличения их массы она постоянно снижается [17].

Так, в яблоках сорта Прикубанское (ОПХ «Центральное», г. Краснодар) при размере плода 4–5 мм (размер — плод «орех лещина») получено следующее содержание макроэлементов: калий — 3160–3300 мг/кг, кальций — 305–320 мг/кг, магний — 137–145 мг/кг. За 40 дней до уборки содержание калия составляло 1956–2020 мг/кг, кальция — 131–145 мг/кг, магния — 75–85 мг/кг. В съемной зрелости уровни содержания минеральных веществ составляли: калия — 1000–1120 мг/кг, кальция — 80–100 мг/кг, магния — 50–60 мг/кг соответственно.

При определении суммарного содержания Mg в яблоках разной степени зрелости и из разных регионов прослеживается зависимость количественного содержания молярного Mg, соответствующее сте-

Таблица 1. Концентрация (мг/кг) и процентное соотношение изотопов магния в плодах яблони, 2021 г., $P = 0,98$

Table 1. Concentration (mg/kg) and percentage of magnesium isotopes in apple fruits, 2021, $P = 0,98$

Проба	Концентрация и процентное соотношение изотопов						Сумма изотопов Mg, мг/кг
	²⁴ Mg, мг/кг	²⁴ Mg, %	²⁵ Mg, мг/кг	²⁵ Mg, %	²⁶ Mg, мг/кг	²⁶ Mg, %	
ООО «Южные земли», Абинский р-н, Краснодарский край							
Гала	74,6	77,4	8,7	9,1	13,0	13,5	96,4
Голден Делишес	75,7	77,0	9,1	9,2	13,4	13,6	98,2
Ред Делишес	93,2	76,4	11,6	9,5	17,1	14,0	122
Павловский район, Краснодарский край							
Джером	153	78,5	17	8,7	25	12,8	195
Флорина	156	78,4	17	8,5	26	13,0	199
Пинк Леди	178	78,8	19	8,4	29	12,8	226
ОПХ «Центральное», г. Краснодар							
Орфей	165	78,2	18	8,5	28	13,2	211
Марго	167	78,4	18	8,4	28	13,1	213
Липецкая область							
Хани красный	124	78,5	13	8,2	21	13,3	158
Лигол	151	78,2	17	8,8	25	13,0	193
Ред Чиф	160	78,4	17	8,3	27	13,2	204
Шпаковский район, Ставропольский край							
Фуджи	154	78,5	16	8,2	26	13,3	196
Голден Делишес	115	78,7	12	8,2	19	13,0	146

Таблица 2. Изотопный состав образцов, отклонения от стандарта и химическое фракционирование

Table 2. Isotopic composition of samples, deviations from the standard and chemical fractionation

Проба	Изотопное соотношение, мг/кг					Химическое фракционирование
	²⁶ Mg	²⁵ Mg	²⁴ Mg	²⁶ Mg/ ²⁴ Mg	РобР – Рст x1000	
ООО «Южные земли», Абинский р-н, Краснодарский край						
Гала	13,01	8,75	74,62	0,17435	34,66	248,00
Голден Делишес	13,42	9,10	75,72	0,17723	37,54	268,75
Ред Делишес	17,07	11,62	93,17	0,18321	43,52	311,56
Павловский район, Краснодарский край						
Джером	25,0	17,0	153,0	0,16339	23,70	169,72
Флорина	26,0	17,8	156,0	0,16666	26,97	193,1
Пинк Леди	29,0	19,8	178,0	0,16292	23,23	166,30
ОПХ «Центральное», г. Краснодар						
Орфей	28,0	18,0	165,0	0,16969	30,00	214,8
Марго	28,0	18,0	167,0	0,16766	27,97	200,26
Липецкая область						
Гала	21	13	124	0,16935	29,66	212,36
Лигол	25	17	151	0,16556	25,87	185,21
Ред Чиф	27	17	160	0,16875	29,06	208,03
Шпаковский район, Ставропольский край						
Фуджи	26	16	154	0,16883	29,14	208,61
Голден Делишес	19	12	115	0,16522	25,52	182,74

пени зрелости плодов, где по мере увеличения массы плодов его содержание уменьшается.

Согласно литературным данным, природный Mg представлен тремя стабильными изотопами — ^{24}Mg , ^{25}Mg и ^{26}Mg с молярной концентрацией для каждого 78,6%, 10,1% и 11,3%. В литературе также имеется и другая информация о фракционировании трех стабильных изотопов магния: ^{24}Mg — 78,992%, ^{25}Mg — 10,003%, ^{26}Mg — 11,005%. По другим источникам, ^{24}Mg — 78,7%, ^{25}Mg — 10,13%, ^{26}Mg — 11,17% [18], а также ^{24}Mg — 78,99%, ^{25}Mg — 10,00%, ^{26}Mg — 11,01% [19]. Магнитные изотопы создают внутренние магнитные поля, что сказывается на живых системах [18].

Исходя из значений общепринятых стандартных образцов при изотопном анализе некоторых химических элементов, Комиссией по изотопному содержанию и атомному весу (IUPAC) для магния R_2 -стандарт принят 0,13969.

Учитывая тот факт, что содержание Mg в почве весьма велико и для принципиально разных регионов возделывания содержание и соотношения массовых концентраций изотопов могут различаться, то может быть обоснован критерий для оценки происхождения яблок с определенной территории.

При определении молярного соотношения изотопов получили следующие данные: ^{24}Mg — от 74,6 до 178,0 мг/кг, ^{25}Mg — от 8,75 до 19,0 мг/кг, ^{26}Mg — от 13,0 до 29,0 мг/кг. Это связано с фазой развития, массой яблок, сортовыми особенностями и местом произрастания.

При расчете процентного соотношения изотопов в наших образцах обозначено процентное содержание изотопов, связанное с видом изотопа при наибольшем процентном содержании легкого изотопа ^{24}Mg , пределы варьирования которого от 77,4 до 78,8%. Фракционирование ^{25}Mg в яблоках — от 8,2 до 9,5% от общего содержания, а ^{26}Mg — от 12,7 до 13,6%.

Непосредственно массовая концентрация и расчет процентного содержания магния указывают на то, что в исследуемых образцах самое низкое содержание магнитного изотопа ^{25}Mg (от 8,2 до 9,5%), как в сравнении между изотопами ^{24}Mg и ^{26}Mg в данных образцах, так и в сравнении с процентным соотношением магния в изотопной подписи стандартного образца (табл. 1).

Учитывая, что полученные данные по процентному соотношению изотопов в образцах близки к соотношению изотопов в природе, то далее был проанализирован изотопный состав каждого образца.

Учитывая, что под изотопным составом понимают относительную распространенность изотопов данного элемента, выражаемую обычно как отношение тяжелого изотопа к наиболее легкому ($^{26}\text{Mg}/^{24}\text{Mg}$), был рассчитан изотопный состав по каждому образцу.

Для обозначения изотопного состава принято использовать величину δ , представляющую собой отклонение от условного международного стандарта, поэтому был рассчитан изотопный состав образцов, выраженный в тысячных долях отклонения от международного стандарта:

$$\delta X (\text{‰}): \quad \delta nX_{\text{образец}} = [(R_{\text{образец}}/R_{\text{стандарт}}) - 1] \times 1000, \text{‰} \quad (2)$$

$$\delta^{26}\text{Mg}_{\text{образец}} = [(R_{\text{образец}}/R_{\text{стандарт}}) - 1] \times 1000, \text{‰} \quad (3)$$

где X — элемент (Mg); n — номер тяжелого изотопа 26; $R_{\text{обр}}$ — молярное соотношение тяжелого и легкого изотопов элемента; $R_{\text{станд}}$ — изотопная пропись стандарта, равная 0,13969; ‰ — промилле.

Изотопный состав образцов яблок с учетом представленных соотношений имеет различия в изотопной прописи с учетом сортовых особенностей, места произрастания, а также отклонения от изотопной подписи стандарта, которые большую выраженность имели в зависимости от места произрастания (табл. 2).

Изотопная пропись состава образцов варьирует в пределах от наименьших значений — 0,16292 (образцы из Павловского района) до максимальных — 0,18321 (образцы из ООО «Южные земли»), что коррелирует и со значениями отклонений от изотопной подписи стандарта от 23,23 до 43,52.

Выводы / Conclusion

В результате проведенных исследований получены данные о содержании изотопов магния в яблоках разных сортов из нескольких зон произрастания. Проведенные исследования свидетельствуют о сепарации изотопов в образцах яблок, особенно это выражено в отношении ^{26}Mg и ^{25}Mg . Полученная информация свидетельствует о том, что может быть обнаружена тенденция к различию изотопной подписи Mg для яблок в зависимости от места произрастания.

Представляется необходимым наличие достаточного объема информации о почве, технологии выращивания плодов с учетом некорневых обработок. Существует объективная необходимость накопления базы данных по изотопному составу магния для большей выборки образцов, установления диапазона варьирования расчетного показателя и соответствия плодов яблони определенному региону (или несоответствия данного региона производства). Реализация данного подхода позволит получить более достоверную информацию о фракционировании изотопов магния в яблоках и установить взаимосвязь с местом произрастания.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Camin F., Perini M., Bontempo L., Fabroni S., Faedi W., Magnani S., Baruzzi G., Bonoli M., Tabilio M.R., Musmeci S., Rossmann A., Kelly S.D., Rapisarda P. Potential isotopic and chemical markers for characterizing organic fruits. *Food Chemistry*. 2011; 125: 1072-1082. DOI:10.1016/J.FOODCHEM.2010.09.081

2. Laursen K.H., Mihailova A., Kelly S.D., Epov V.N., Bérail S., Schjoerring J.K., Donard O.F.X., Larsen E.H., Pedentchouk N., MarcaBell A.D., Halekoh U., Olesen J.E., Husted S. Is it really organic? Multi-isotopic analysis as a tool to discriminate between organic and conventional plants. *Food chemistry*. 2013; 141: 2812-2820. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.05.068

3. Schmidt H., Rossmann A., Voerkelius S. Isotope characteristics of vegetables and wheat from conventional and organic production. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2005; 41: 223-228. DOI:10.1080/10256010500230072
4. Trust B.A., Fry B. Stable sulphur isotopes in plants: a review. *Plant, Cell and Environment*. 1992; 15: 1105-1110.
5. Vitoria L., Otero N., Soler A., Canals A. Fertilizer Characterization: Isotopic Data (N, S, O, C, and Sr). *Environmental Science Technology*. 2004; 38(12): 3254-3262.
6. Blättler C.L., Claire M.W., Prave A.R., Kirsimäe K., Higgins J.A., Medvedev P.V., Romashkin A.E., Rychanchik D.V., Zerkle A.L., Paiste K., Kreitsmann T., Millar I.L., Hayles J. A., Bao H., Turchyn A.V., Warke M. R., Leland A. Two-billion-year-old evaporites capture Earth's great oxidation. *Science*. 2018; 360: 320-323. DOI :10.1126/science.aar2687
7. Angert A., Said-Ahmad W., Davidson Ch., Amrani A. Sulfur isotopes ratio of atmospheric carbonyl sulfide constrains its sources. *Scientific reports*. 2019; 9: 741. DOI:10.1038/s41598-018-37131-3
8. Finlay J.C., Kendall, C. Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems. In: R. Michener and K. Lajtha, editors, *Stable isotopes in ecology and environmental science*. 2nd ed. . Boston: Blackwell Publ., 2007; 283-333.
9. Young E. D., Galy A., Nagahara H. Kinetic and equilibrium mass-dependent isotope fractionation laws in nature and their geochemical and cosmochemical significance *Geochimica et cosmochimica acta*. 2002; 66: 1095-1104. DOI:10.1016/S0016-7037(01)00832-8.
10. Shin W.J., Ryu J.S., Mayer B., Lee K.S., Kim I. Nitrogen, Sulfur, and Oxygen Isotope Ratios of Animal- and Plant-Based Organic Fertilizers Used in South Korea. *Journal of Environmental Quality*. 2017; 46(3): 559-567. DOI:10.2134/jeq2017.01.0018.
11. Rapisarda P., Camin F., Fabroni S. [et al.] Influence of different organic fertilizers on quality parameters and the $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{34}\text{S}$, and $\delta^{18}\text{O}$ values of orange fruit (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2010; 58: 3502-3506. DOI: 10.1021/jf903952v
12. Letuta U.G. Magnetic isotopes of 25 Mg and 67 Zn and magnetic fields influence on adenosine triphosphate content in *Escherichia Coli*. *Journal of Physics Conference Series*. 2020; 1443(1): 012-015. DOI:10.1088/1742-6596/1443/1/012015
13. Letuta U.G., Berdinskiy V.L., Udagawa Ch., Tanimoto Y. Enzymatic mechanisms of biological magnetic sensitivity: Enzymatic Mechanisms of Biomagneto-sensitivity, *Bioelectromagnetics*. 2017; 38(7): 511-521. DOI:10.1002/bem.22071
14. Coplen T.B., Bohlke J.K., De Bièvre P., Ding T., Holden N.E., Hopple J.A., Krouse H., Lambert A., Peiser H.S., Revesz K., Rieder S.E., Rosman K.J.R., Roth E., Taylor P.D.P., Vocke R.D., Xiao Y.K. Isotope-abundance variations of selected elements (IUPAC technical report), *Pure and applied chemistry*. 2002; 74: 1987-2017. DOI:10.1351/pac200274101987
15. Bizzarro M., Paton Ch., Larsen K., Schiller M., Trinquier A., Ulfbeck D. High-precision Mg-isotope measurements of terrestrial and extraterrestrial material by HR-MC-ICPMS —implications for the relative and absolute Mg-isotope composition of the bulk silicate Earth, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2011; 26 (3): 565. doi:10.1039/c0ja00190b
16. Pobozy E., Trojanowicz M. Application of capillary electrophoresis for determination of inorganic analytes in waters, *Molecules*. 2021; 26: 6972. <https://doi.org/10.3390/molecules26226972>.
17. Robin J. Mineral nutrient composition of vegetables, fruits and grains: the context of reports of apparent historical declines, *Journal of Food Composition and Analysis*. 2017; 56: 93-103. DOI:10.1016/j.jfca.2016.11.012
18. Buchachenko A.L., Bukhvostov A.A., Ermakov K.V., Kuznetsov D.A. A specific role of magnetic isotopes in biological and ecological systems. Physics and biophysics beyond, *Prog Biophys Mol Biol*. 2020; 155: 1-19.
19. Letuta U.G. Magnesium magnetic isotope effects in microbiology, *Archives of Microbiology*. 2021; 203(5): 1853-1861. DOI: 10.1007/s00203-021-02219-4

ОБ АВТОРАХ:**Татьяна Григорьевна Причко,**

доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник,
Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, ул. им. 40-летия Победы, д. 39, Краснодар, 350901, Российская Федерация
E-mail: prichko@yandex.ru

Юрий Федорович Якуба,

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,
Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, ул. им. 40-летия Победы, д. 39, Краснодар, 350901, Российская Федерация
E-mail: uriteodor@yandex.ru

Марина Владимировна Карпушина,

кандидат сельскохозяйственных наук старший научный сотрудник,
Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, ул. им. 40-летия Победы, д. 39, Краснодар, 350901, Российская Федерация
E-mail: karpushinamarina@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS:**Tatyana Grigoryevna Prichko,**

Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher,
North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 str. 40-letiya Pobedy, Krasnodar, 350901,
Russian Federation
E-mail: prichko@yandex.ru

Uriy Fyodorovich Yakuba,

Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 str. 40-letiya Pobedy, Krasnodar, 350901,
Russian Federation
E-mail: uriteodor@yandex.ru

Marina Vladimirovna Karpushina,

Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher,
North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 str. 40-letiya Pobedy, Krasnodar, 350901, Russian Federation
E-mail: karpushinamarina@gmail.com